

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИПАРОВУВАННЯ ВОЛОГИ З ҐРУНТУ

¹к.т.н. Іванюта М. В.

¹д.ф., к.т.н., доцент Арендаренко В. М.

²д.е.н., проф.. Іванюта В. Ф.

¹Україна, Полтава, Полтавська державна аграрна академія

²Україна, Полтава, Полтавський університет економіки і торгівлі

Abstract. The article describes the main results of studies of evaporation of moisture depending on some physical and mechanical characteristics of the soil. The basic characteristics obtained in the laboratory by artificial simulation of the conditions of stay of the soil of different porosity using a complete factorial plan 2³.

Keywords: tillage, moisture conservation, soil erosion.

Актуальність теми. Однією з найактуальніших проблем у сільськогосподарському виробництві є збереження продуктивних запасів вологи шляхом регулювання водно-повітряного режиму ґрунту нерациональне керування яким може призвести до опустелювання землі. Опустелювання або дезертифікація (деградація земель в аридных, полуаридних (семіаридних) і посушливих (субгумідних) регіонах земної кулі) викликане як діяльністю людини (антропогенними причинами), так і природними факторами і процесами. Термін "кліматичне опустелювання" був запропонований в 1940-х роках французьким дослідником Обервілем. Поняття "ґрунт" в даному випадку означає біопродуктивну систему, що складається з ґрунту, води, рослинності, іншої біомаси, а також екологічні і гідрологічні процеси всередині системи.

Метою роботи поставлено встановлення раціональних фізико-механічних та технологічних параметрів ґрунту з позиції збереження вологи.

В загальному випадку під час висихання з матеріалу видаляється легколетючий компонент (вода, органічний розчинник, суміш, і.т.д.). Вологомісткість ґрунту визначають по формулі:

$$U = \frac{W}{G}, \quad (1)$$

де U – вологомісткість, %;

W – маса вологи в одиниці об'єму ґрунту, гр;

G – маса сухого ґрунту, гр.

В процесі висихання вологий ґрунт постійно прагне урівноважитись з навколишнім середовищем, тому вологомісткість одиниці об'єму ґрунту залежить від температури T , часу τ та координат в просторі x_1, x_2, x_3 . Залежність температури від часу можна не враховувати, так як температура для досліджуваного ґрунту врівноважується значно швидше ніж вологомісткість [1]. Зміна в часі середніх по об'єму тіла вологомісткості U та температур T характеризують кінетику процесів висихання та нагрівання:

$$\bar{U} = \iiint_V U(x_1, x_2, x_3, \tau) dx_1 dx_2 dx_3 \quad (2)$$

$$\bar{T} = \iiint_V T(x_1, x_2, x_3, \tau) dx_1 dx_2 dx_3 \quad (3)$$

Інтенсивність висихання ґрунту визначається швидкістю висихання, що зменшується по мірі наближення до стану рівноваги та, як правило, прагне до нуля. Процес висихання ґрунту доволі складний та залежить від великої кількості як зовнішніх так і внутрішніх факторів що свідчить про неможливість складення математичної моделі. Найбільший вплив на процес

висихання створюють фактори що характеризують ґрунт як основний засіб виробництва. Відповідно до рівняння Томсона-Кельвіна [2, 3] ($r < 10^{-7}$, м):

$$P_{\text{вип}} - P_0 = P_0 \left[\exp \left(\frac{M \cdot \sigma \cdot K}{\rho_p \cdot R \cdot T} \right) - 1 \right], \quad (4)$$

де $\rho_{\text{вип}}$ - тиск насиченого пару над випуклою поверхнею, Па;

ρ_0 - тиск насиченого пару над плоскою поверхнею, Па;

K – середня кривизна поверхні; $K = 1/R_1 + 1/R_2$, м;

R_1, R_2 – головні радіуси кривизни поверхні розділу фаз;

M – молярна маса речовини, г/моль;

σ – коефіцієнт поверхневого натягу;

ρ_p – щільність рідини, т/м³;

R – універсальна газова стала;

T – абсолютна температура, К.

Основними рівняннями для аналітичного визначення тривалості висихання та прогрівання ґрунту є рівняння вологопровідності та теплопровідності. Диференціальне рівняння термовологопровідності процесу висихання в узагальненому вигляді має вигляд:

$$\frac{du}{d\tau} = a_m \cdot \theta^2 \cdot u + a_m \cdot \delta \cdot \theta^2 \cdot t \quad (6)$$

$$\frac{dt}{d\tau} = a_m \cdot \theta^2 \cdot u + \frac{q_v}{\varepsilon_B \cdot \rho_0} - \frac{r_e}{c_B} \frac{du}{d\tau} \quad (7)$$

де q_v – внутрішнє тепло, Дж;

ρ_0 – щільність сухого матеріалу, т/м³;

c_B – теплоємність вологого матеріалу, Дж/кг · °С;

r – теплота пароутворення, Дж/кг;

ε – коефіцієнт внутрішнього випаровування води;

t – температура матеріалу °С;

a – коефіцієнт температуропровідності матеріалу при його середній вологості.

Аналітичні рівняння (5, 6) можливі лише при постійних значеннях коефіцієнтів масопереносу та для деяких простих випадків. Знаючи характер зміни коефіцієнтів a_m та δ можна встановити технологічну характеристику процесу висихання та зв'язати її з технологічним процесом. На рис.1 показана орієнтовна залежність коефіцієнта потенціалопровідності a_m від вологості матеріалу при його постійній температурі. На рис.2 показана орієнтовна залежність термоградієнтного коефіцієнта δ від вологості матеріалу при його постійній температурі.

Для кількісних розрахунків кінетичних параметрів процесу висихання ґрунту існують приблизні рівняння, що виведені шляхом заміни кривої висихання прямою лінією (Рис. 2,3), при цьому з геометричних співвідношень:

$$-\frac{d\omega}{d\tau} = N \cdot \frac{\omega - \omega_p}{\omega_{к.п.} - \omega_p} = x \cdot N (\omega - \omega_p) \quad (7)$$

де N – постійна швидкість висихання в першому періоді %/год.;

$\omega_{к.п.}$ – приведена критична вологість, яка може бути більше або менше дійсної критичної вологості, %;

$x = 1/(\omega_{к.п.} - \omega_p)$ – відносний коефіцієнт висихання, що визначається експериментально.

ω_p – базова вологість ґрунту, %

ω – вологість ґрунту в період часу t %

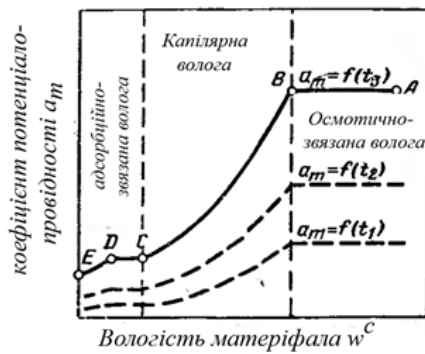


Рис. 1 Залежність коефіцієнта потенціало-провідності a_m від вологості

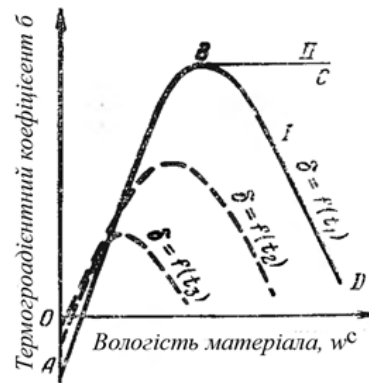


Рис. 2 Залежність термоградійного коефіцієнта δ від вологості

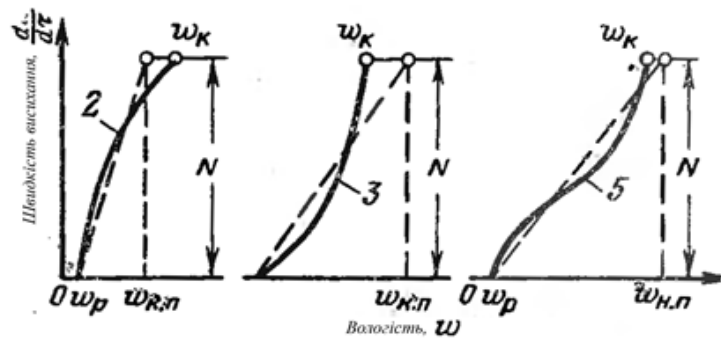


Рис. 3 Графічне визначення приведенного коефіцієнта вологості грунту

В спрощеному вигляді, на основі рис. 3 після перетворень тривалість висихання можна записати у вигляді:

$$\tau = \frac{1}{N} \left[\omega_1 - \omega_{к.п.} + 2,3(\omega_{к.п.} - \omega_p) \cdot \lg \frac{\omega_{к.п.} - \omega_p}{\omega_2 - \omega_p} \right] \quad (8)$$

де ω_1 – початкова вологість ґрунту;

де ω_2 – кінцева вологість ґрунту.

Для дослідження основних тепло та водообмінних характеристик ґрунту скористаємось методикою повного факторного експерименту 2^3 [4]. В даному дослідженні застосовувався ротабельний план, для якого дисперсія відгуку є постійною у всіх точках, однаково віддалених від центру плану. Відповідно до ДСТУ 4362:2004 [5] основним показником родючості ґрунту що може впливати на зміну вологості ґрунту є щільність ρ , т/м^3 відбори проб для визначення якої здійснювались відповідно до ДСТУ ISO 11272:2001. Відповідно до плану експерименту досліджуваним параметром обрано вологість ґрунту (%) відповідно до ДСТУ ISO 11465:2001[6]. Факторами дослідження було обрано:

1. Щільність ρ , т/м^3 ;
2. Температура t , $^{\circ}\text{C}$;
3. Час перебування зразків ґрунту в заданих умовах τ , год.

В результаті обробки результатів було отримано поверхні відгуку з діапазонами значень вологості (Рис. 4-9).

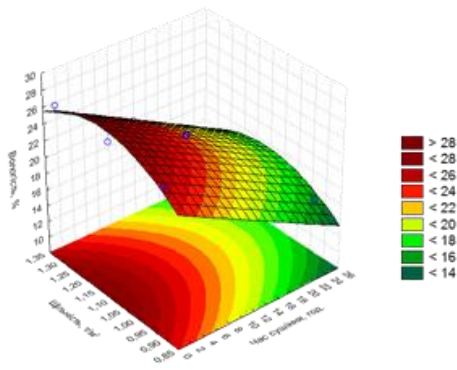


Рис. 4. Поверхня відгуку результуючої вологості від щільності ґрунту та тривалості висихання, $t = 10^\circ\text{C}$.
 $(z = -41 - 0,4x + 0,00007x^2 + 122,8y - 54y^2 + 0,25xy + 0; R^2 = 0,98)$

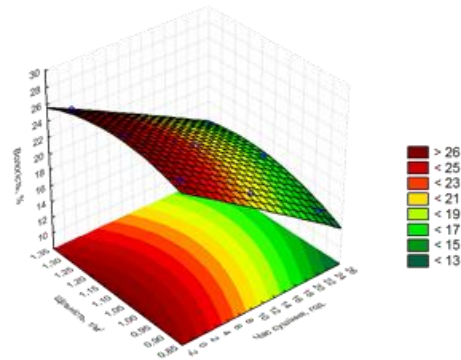


Рис. 5. Поверхня відгуку результуючої вологості від щільності ґрунту та тривалості висихання, $t = 20^\circ\text{C}$.
 $(z = -6,7 - 0,7x - 0,0007x^2 + 61,8y - 8y^2 + 0,25xy + 0; R^2 = 0,98)$

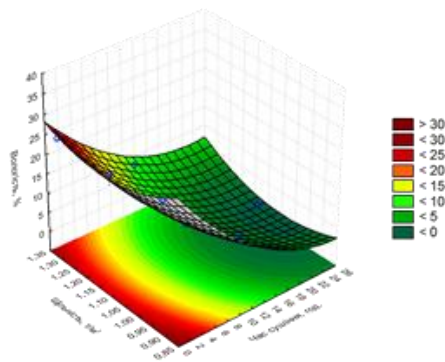


Рис. 6. Поверхня відгуку результуючої вологості від щільності ґрунту та тривалості висихання, $t = 30^\circ\text{C}$.
 $(z = 131 - 2,72x + 0,04x^2 - 187y + 82y^2 + 0,6xy + 0; R^2 = 0,98)$

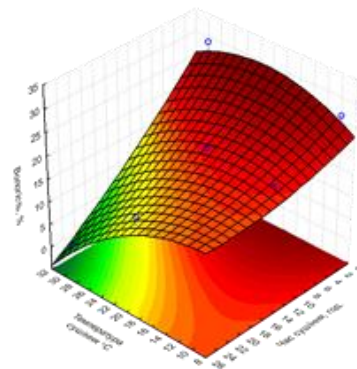


Рис. 7. Поверхня відгуку результуючої вологості від температури та тривалості висихання, $\rho = 0,9 \text{ т/м}^3$.
 $(z = 12,9 + 1,5x - 0,03x^2 - 0,16y + 0,01y^2 - 0,04xy + 0; R^2 = 0,98)$

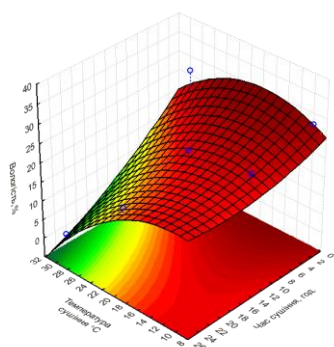


Рис. 8. Поверхня відгуку результуючої вологості від температури та тривалості висихання, $\rho = 1,1 \text{ т/м}^3$.
 $(z = 13,3 + 1,9x - 0,05x^2 - 0,3y + 0,02y^2 - 0,03xy + 0; R^2 = 0,98)$

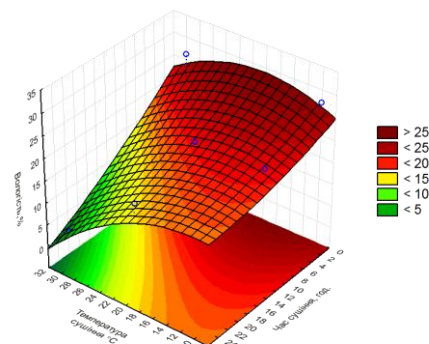


Рис. 9. Поверхня відгуку результуючої вологості від температури та тривалості висихання, $\rho = 1,3 \text{ т/м}^3$.
 $(z = 16,16 + 1,3x - 0,03x^2 - 0,3y + 0,008y^2 - 0,025xy + 0; R^2 = 0,98)$

Висновки

1. Суттєво на процес висихання ґрунту впливають температура, відносна вологість повітря (відносний тиск) та швидкість руху відносно ґрунту, значення атмосферного тиску.
2. В процесі висихання гутну, в залежності від його пористості утворюється додатковий потік вологи до повітря величина якого залежить від величини пористості ґрунту.
3. Випаровування вологи в капілярах характеризується збільшенням δ за рахунок наявності в них защемленого повітря. Також при малих вологостях коефіцієнт δ змінює напрямок в результаті переміщення вологи в зворотньому напрямку внаслідок термодифузії пари та повітря в напрямку від холодних зон до гарячих.

ЛІТЕРАТУРА

1. Лебедев П. Д. Теплообменные, сушильные и холодильные установки. П.Д. Лебедев. Учебник для студентов технических вузов. Изд. 2-е, перераб. М., «Энергия», 1972. 319 с.
2. Сажин Б.С. Основы техники сушки. Б.С. Сажин. М.: Химия. 1984.–320 с
3. Киреев В. А. Краткий курс физической химии. В.А. Киреев. М.: Химия, 1978. 624 с.
4. Боровиков В.П. Statistica. Искусство анализа данных на компьютере. В.П. Боровиков Изд-во Питер. 2003 г. 2-ое изд. 688 стр.
5. Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів. ДСТУ 4362:2004 [Чинний від 2001-01-01]. К.: - Держспоживстандарт України, 2006. – 23с. – (Національні стандарти України).
6. Якість ґрунту. Визначення сухої речовини та вологості за масою. Гравіметричний метод. ДСТУ ISO 11465:2001- ДСТУ ISO 11465:2001. – [Чинний від 2003-01-01]. К.: – Держспоживстандарт України, 2001. – 10с. – (Національні стандарти України).